

加熱タール合材の力学的基礎性状について

正員 ○中 島 昭 雄*

正員 上 島 壮***

学生員 森 吉 昭 博****

正員 菅 原 照 雄****

I. 概 説

舗装タールはすでに知られているように浸透性、附着性、耐油性等にすぐれている反面、アスファルトと比較するとかなり異なった性状を示す。その性状はニュートンの粘性法則にはば従う粘性体であると考えられる。従ってアスファルトにみられる弾性的要素は殆んどない。普通用いられる舗装用タールは、P.I. (針入度指数) が-2以下であり感温性状が高いものである。このような性質はタールにとって不利な点であるが、石油、石炭タールの利用は、品質的な角度からのみでなく、大局的な資源利用の面からも論じられなければならないであろう。そのためには、

- タールの性状を変化せしめること
- タールの性状を把握して、適切な舗装工種を選択すること
- タール舗装に適する道路を見出すこと

が考えられる。

このような見地から2, 3の添加物を使用した数種類の舗装用加熱タール合材を製作し、その力学的性状に関する基礎的研究を行なった。

加熱混合式のアスファルト合材に関する試験として一般にマーシャル試験が多く行なわれている。舗装用タール合材の安定度についてマーシャル試験に準じて良いかどうかは問題である。マーシャル試験においては、荷重は静的にかかり、破壊に至るまで歪の回復は生じない。破壊までの荷荷時間は4~6秒であり、試験温度は60°Cとなっている。一方英国の Road Research Laboratory で開発された Wheel Tracking test (車輪走行試験) についてみると、荷重は走行車輪により動的に、くり返し与えられることになり、従って歪の一部回復もあり得る。荷荷時間は5/100秒程度となる。試験温度は45°Cである。これらの試験を比較すると両者とも、高温時における安定度を求める試験

であるが、前者は静的安定度、後者は動的安定度を示すものと考えられる。

本試験では、タール合材についてマーシャル試験と車輪走行試験を行ない、その静的安定度と動的安定度を求めた。

次に感温性が大きいタール合材の場合には低温における力学的性状も同時に検討されなければならない。そこで一部のタール合材について、高速曲げ破壊試験を行ない、低温における脆性、たわみ性、曲げ強さ、曲げ剛性率をもとめて、これらからタール合材の力学的基礎性状を求めたものである。

II. 高温における動的安定度と静的安定度

動的安定度試験として Wheel Tracking test, 静的安定度試験としてマーシャル試験をえらんだ。

1. 代表的舗装用タール合材に関する試験

英国ではタール舗装の歴史が長く、種々のタイプのものが使用されているが、代表的なものとして次の計5種類の合材をえらび試験した。

- ベースコース用タールマカダム合材
公称粒径 1 1/2" (記号 B.C. 1 1/2")
" 1" (" B.C. 1")
" 3/4" (" B.C. 3/4")
- 加熱混合タール合材 (タールコンクリート)
Stone Content 35% (記号 D.T.S. 35)
" 50% (" D.T.S. 50)

使用したタールは、EVT=43.8°C。上記5種類の合材の骨材通過重量百分率とタール量を表-1に示す。

1) 試験結果

Wheel Tracking test による時間-変位曲線を図-1に、マーシャル試験結果および動的安定度の値を表-2、図-2に示す。比較のため、密粒度アスファルトコンクリート (Stone Content 50%) についての試験結果も示した。これ

* 北海道大学工学部 助教授

** 北海道大学工学部 助手

*** 北海道大学大学院 工学研究科

**** 北海道大学工学部 教授 工博

表-1 骨材通過重量百分率とタール量

種 別	フルイ目の開き (mm)														タール量 (%)
	40	30	25	20	15	10	7	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074	
B.C. 1 1/2"	100	90	83	77	70	62	56	50	40	31	23	10.1	6.8	5.0	5.0
B.C. 1"		100	91	82	72	62	54	47	38	30	23	8.1	5.4	4.0	
B.C. 3/4"				100	76	59	48	42	34	28	22	8.1	5.4	4.0	
D.T.S. 35					100	80	75	71	61	49	38	24.2	16.3	12.0	7.9
D.T.S. 50					100	72	64	58	48	39	31	18.2	12.2	9.0	7.2

表-2 試験結果 (代表的タール合材について)

合 材 種 別	タールの E.V.T. (°C)	タール量 (%)	マ ー シ ャ ル 試 験 (60°C)				ホイール・トラッキ ング試験 (45°C) 動的安定度 (Passes/mm)
			密 度 (g/cm ³)	空 隙 率 (%)	安 定 度 (kg)	フロー値 (1/100 cm)	
B.C. 1 1/2"	43.8	5	2,415	6.6	672	24	420
B.C. 1"			2,407	5.6	364	16	391
B.C. 3/4"			2,387	6.3	272	11	701
D.T.S. 35		7.9	2,424	2.4	279	30	—*
D.T.S. 50		7.2	2,445	2.1	274	23	—*
アスファルト コンクリート	Pen 80/100	5.8	2,420	2.3	1,054	46	7,001

* 変位が過大で測定不能。

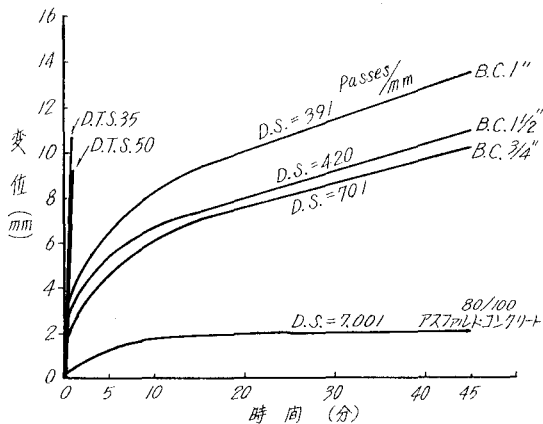


図-1 各種タール合材の時間—変位曲線

らの結果から、

a. ベースコース用タールマカダム合材では、いずれも動的安定度は、アスファルトコンクリートに比べ小さい。アスファルト合材の7,000 passes/mmに対して約400~700 passes/mmである。マーシャル安定度は約270~670 kgであり公称粒径の大きなもの程大であるが、アスファルト合材に比べ小さい。

b. タールコンクリートについてみると、Stone Con-

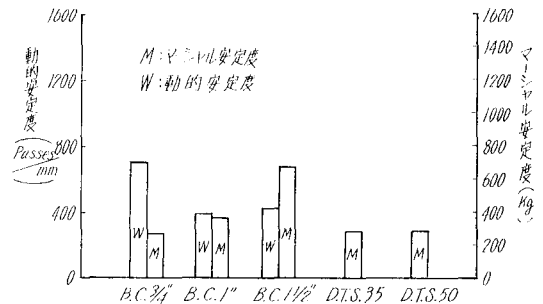


図-2 マーシャル安定度と動的安定度

tent 35, および50% のいずれの場合も動的安定度は著しく小さく測定不能であった。本試験におけるタールはEVTが43.8°Cであり、上記安定度からすると軟らか過ぎるものであろう。EVTで54°C位がやはり必要であらう。

2. タールの EVT の影響について

1の結果からタールの EVT を上昇させた場合の影響について調べた。基礎試験の結果からタールの温度—粘度関係の勾配、すなわち感温性は、中ピッチ添加によって殆んど変化しない。又粘度は上昇するが同時にフラスコ脆化点の上昇を伴うことが分った。

次にこれら4種類のタールを使用した加熱タール合材を製作しその安定度を求めた。

表-3 骨材通過重量百分率とタール量

フルイ目の開き (mm)	20	15	10	7	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074	タール量 (%)
F/T=0.5	100	89.0	75.7	67.3	59.0	46.5	36.1	23.7	7.1	4.9	3.7	6.8
F/T=1.0							37.7	27.2	13.2	9.1	7.0	
F/T=1.5							39.7	31.6	20.8	14.3	11.0	
F/T=2.0							41.5	35.6	27.7	19.1	14.5	
F/T=2.5							43.4	39.6	34.6	23.9	18.2	

表-4 試験結果一覧

試験項目	F/T	タールのE.V.T (°C)	タール量 (%)	マーシャル試験 (60°C)				ホイール・トラッキング試験 (45°C)	
				密度 (g/cm³)	空隙率 (%)	安定度 (kg)	フロー値 (1/100 cm)	動的安定度 (Passes/mm)	
EVTの影響	1.0	43.8	6.8	2,448	2.2	991	20	55	
		50.7		2,429	3.0	1,221	25	80	
		56.0		2,441	2.6	1,429	31	172	
		60.8		2,409	3.9	1,643	33	458	
F/Tの影響	0.5	56.0	6.8	2,345	6.5	613	14	416	
	1.0			2,441	2.6	1,429	31	172	
	1.5			2,437	2.7	1,235	64	55	
	2.0			2,435	2.7	876	65	17	
	2.5			2,423	3.1	1,080	53	105	
ゴム添加	1.0	56.0	6.8	ゴム 3%	2,417	3.0	1,112	17	265
				ゴム 5%	2,406	3.8	1,052	15	332
				ゴム 7%	2,388	4.5	943	14	1,168
塩ビ添加	1.0	30.8	6.8	塩ビ 3%	2,429	3.0	806	9	80
				塩ビ 4%	2,433	2.8	942	9	105
				塩ビ 5%	2,429	3.0	1,166	12	160

1) 合材種別

加熱混合タール合材の Stone Content 50% のものに近似した密粒度の合材 1 種類。骨材通過重量百分率、タール量は表-3 の F/T=1.0 の項に示すものである。

2. 試験結果

試験の結果を表-4 上欄、および図-3、図-4 に示す。これらの結果から、

a. タールの EVT を中ピッチ添加により上昇させると動的安定度は増大する。EVT 43.8°C で 55 passes/mm が 60.8 になると 458 passes/mm となる。しかしアスファルトコンクリートに比較するとかなり小さい。

b. マーシャル安定度についても、EVT の上昇に従っ

て直線的な増加が認められた。EVT 43.8°C で約 1,000 kg, 60.8 では 1,640 kg とかなり大きな値を示す。

以上のようにこの場合は、動的安定度、静的安定度、ともに増加するが、反面後述する低温における力学的性状も同時にみななければならない。

3. フィラー量の影響について

フィラー量の安定度に及ぼす影響をみるために、2 ににおいて使用したタール合材の F/T を 1.0 から 0.5, 1.5, 2.0 および 2.5 と変えた、粒度組成の異なる 5 種類の合材を製作し、試験した。

1) 合材種別

骨材通過重量百分率、タール量を表-3 に示す。

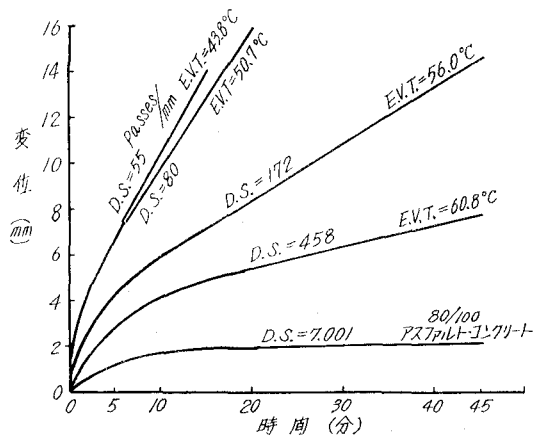


図-3 時間-変位曲線 (E.V.T. の影響)

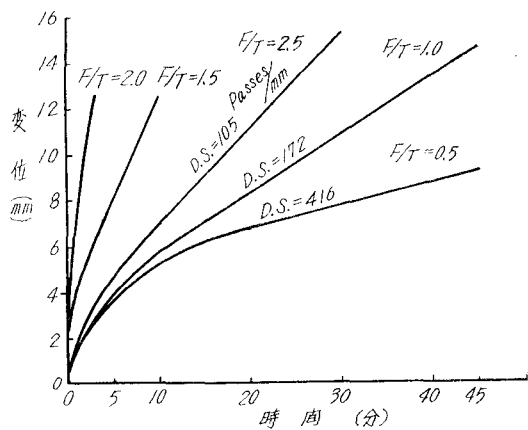


図-5 時間-変位曲線 (F/T の影響)

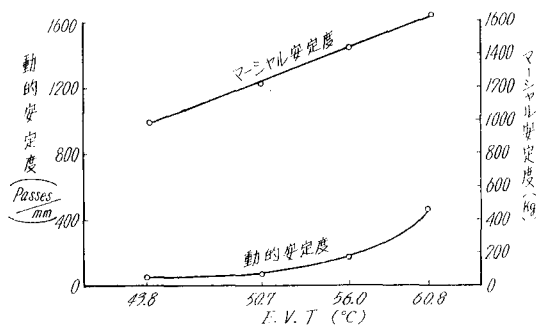


図-4 マーシャル安定度と動的安定度 (E.V.T. の影響)

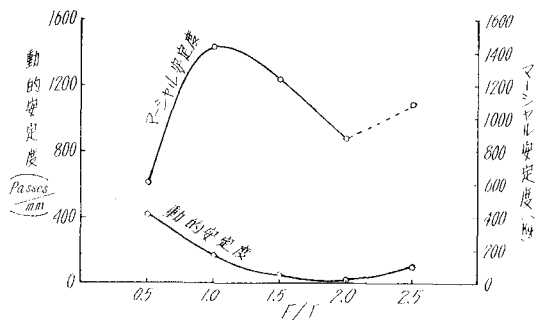


図-6 マーシャル安定度と動的安定度 (F/T の影響)

2) 試験結果

試験結果を表-4 中欄、および図-5、図-6 に示す。

a. フィラー量を $F/T=1.0$ から増加させた場合、動的安定度は $F/T=2.0$ まで減少し、2.5 で若干上がる。

b. マーシャル安定度についてみると、 $F/T=1.0$ の点で最大値約 1,430 kg が得られた。フィラー量を変化させた場合 $F/T=0.5 \sim 2.0$ の間では、動的安定度は減少し、静的安定度は最大値を示すという関係が得られた。

4. 合成ゴムラテックスおよび塩化ビニール添加による影響

既述のように、タールの粘度を上げて高温安定度を得る

一方、低温における脆性をも考慮しなければならない。基礎的研究によって、合成ゴムラテックス、或いは塩化ビニールを添加すると、その粘度は上昇し、一方フラス脆化点も上昇するが、中ピッチ添加による場合よりその割合がゆるやかであることが知られた。そこで、これらを合材に混入してその安定度を求めた。

1) 合材種別

3 における合材の $F/T=1.0$ のものと同一のタール合材 1 種類をえらび

合成ゴムラテックス量 3, 5, 7%

塩化ビニール量 3, 4, 5%

表-5 合成ゴムラテックス、塩化ビニールの一般性状

種 類	重合体組成	全固形分 (%)	pH	平均粒径 (μ)	ラテックスの比重	ラテックスの粘度 (C.P.)
Nipol Road Star	低スチレンブタジエン共重合体	50.0	9.0	約 0.05	0.98	約 200
種 類	組 成	標準重合度	外 観 粒 度	標準嵩比重		
# 3000 L	ス ト レ ー ト	800	80 mesh 以下	0.4~0.5		

とした。いずれも、固形分/(タール+固形分)の値である(一般的性状は表-5に示す)。塩化ビニル添加のタールのみ EVT が 30.8°C である。

2) 試験結果

試験の結果を表-4 下欄、図-7、図-8に示す。

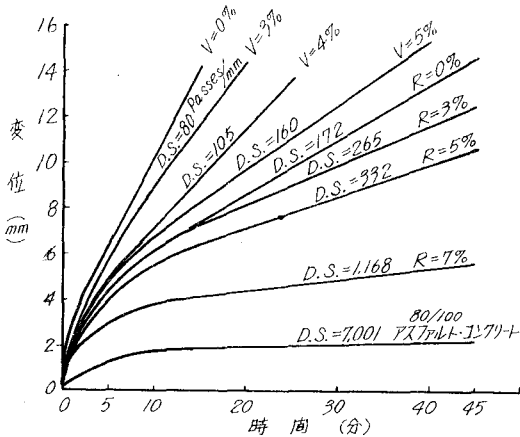


図-7 時間—変位曲線 (ゴム, 塩ビ添加の影響)

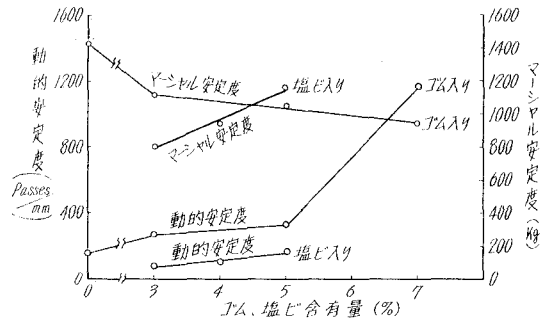


図-8 マーシャル安定度と動的安定度 (ゴム, 塩ビ添加の影響)

- a. ゴムラテックス、或いは塩ビ添加により動的安定度はかなり上昇する。172 passes/mm がゴム 7% 添加により 1,168 passes/mm となり、著しく増加する。
- b. マーシャル安定度についてみると、塩ビ添加の場合は、タールの EVT を上昇させた場合と似ており、動的、静的両安定度ともに増加する。

III. 低温における力学的性状

-10°C の低温から 30°C までの力学的性状を調べるために高速曲げ破壊試験を行なった。

この試験の結果から応力—歪曲線を求めれば、粘弾性体である瀝青系合材では、温度、歪速度、合材の種類によって、そのタイプが大きく図-9に示す3つのグループに分けられる。

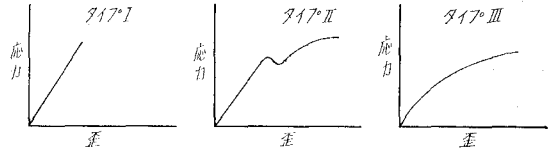


図-9 応力—歪曲線のタイプ

- タイプ I; 応力—歪は直線的となり脆性破壊を示す。
 - タイプ II; 降伏点を有し、初期には弾性的に挙動するがフロー性状が現われてくる。
 - タイプ III; 初期から流動性状を示す。
- 変位速度が一定の場合、温度が低くなると III 型から I 型へと変る。合材の種別 (バインダーの種類) によってこの変化をみれば、脆性を有する温度、フロー性状を示す温度領域を判断することが出来る。合材のたわみ性については破断時の歪 (許容歪) を求めて比較した。同時に曲げ強さ、曲げ剛性率をも求めた。

1) 合材種別

I の試験における合材のうち

- a. タールの EVT を変化させた合材
- b. フィラー量を変えた合材、および
- c. 合成ゴムラテックス添加の合材

をえらび、高速曲げ破壊試験を行なった。試験温度は -10, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30°C の 8 点である。

2) 試験結果

高速曲げ試験による応力—歪曲線のタイプ別分類を表-6に示す。温度—曲げ強さの関係を図-10、図-11、図-12に、また温度—許容歪の関係を図-13に示す。曲げ剛性率 (0°C, 20°C における) を表-7に示す。なお -10°C における値はバラツキが多く明確には求められなかったので図の中では省略した。以上の結果について考察すると、

- a. タールの EVT を上昇させた場合
 - i) 脆性; 表-6に示すようにタールの EVT が大になるに従って、I 型の脆性破壊をする温度が順に高い方に移動して行く。つまり粘度は大になるが、脆くなり易い傾向になってくる。
 - ii) 曲げ強さ; EVT が大になると、最大曲げ強さを示す温度が順に高温側に移動して行く。この最大曲げ強さを示す温度以下では脆性破壊、また以上では流動状態での破壊抵抗を示すものと考えられる。従ってピークが高温側にあることは、脆化の温度の高いことを示し、低温側にあると脆化温度が低いことを示す。又一方ピークへの勾配は、アスファルトコンクリートに比べ急になっており、感温性の大きなることを示している。この粘性抵抗部分の勾配は、各 EVT についてはほぼ同一であり、脆化温度の低い方、即ち EVT の低い方はその粘性抵抗が非常に小さくなっている。これは流動に対する抵抗性の小さいことを示すものと

考えることが出来る。

iii) 許容歪；EVT と許容歪の関係は明確には求められなかったが図-12 に示すように EVT が大になると許容歪は小さくなって来る。将来この許容歪の改良が問題になるものと考えられる。

iv) 曲げ剛性率；曲げ剛性率と温度、および載荷時間の関係はすでに求められている。ここで剛性率を求める意義は、舗装の構造設計に際して、各載荷時間に応じた弾性係数を明らかにし、かつ総合的な粘弾性常数を示さんとするものである。ここでいう曲げ剛性率は、他の材料における

表-6 応力—歪曲線タイプ別分類表

種 別	温 度 (°C)							
	-10	0	5	10	15	20	25	30
E.V.T.=43.8°C								
50.7°C		I				II		III
56.0°C								
60.8°C								
F/T=0.5								
1.0								
1.5			I			II		III
2.0								
2.5								
ゴム量=0%								III
3%								
5%			I				II	
7%								
アスファルト コンクリート			I			II		III

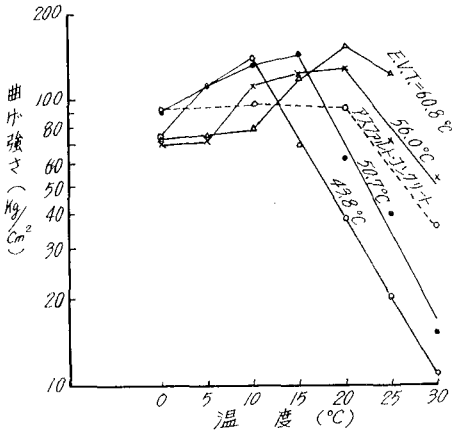


図-10 温度—曲げ強さ (E.V.T. の影響)

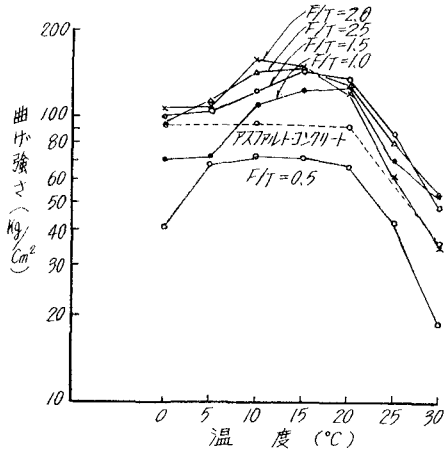


図-11 温度—曲げ強さ (F/T の影響)

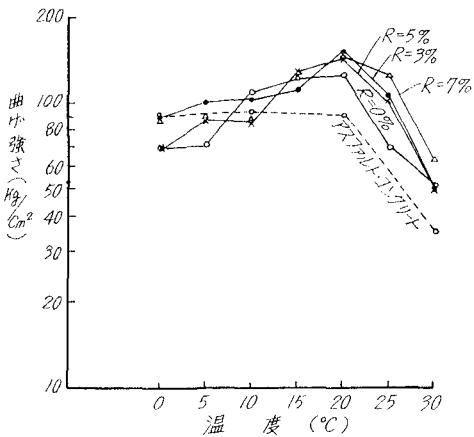


図-12 温度—曲げ強さ (ゴム添加の影響)

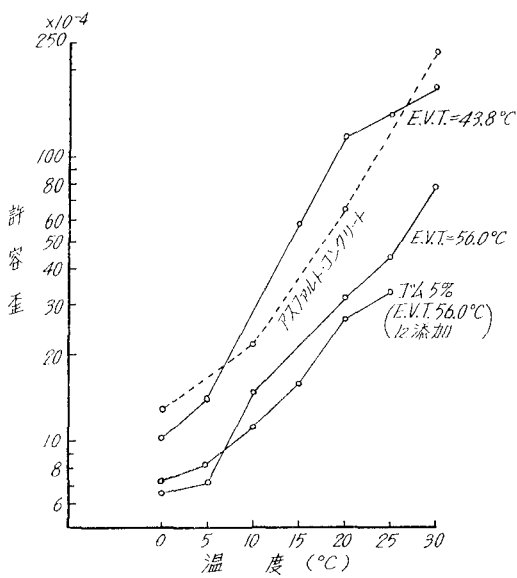


図-13 温度—許容歪の関係

表—7 曲げ剛性率 (0°C, 20°C)

種 別	温 度 0°C		温 度 20°C	
	載荷時間 (msec)	曲 げ 剛 性 率 (kg/cm ²)	載荷時間 (msec)	曲 げ 剛 性 率 (kg/cm ²)
E.V.T.=43.8°C	2.5	7.1×10 ⁴	10	0.8×10 ⁴
50.7°C	1.7	8.9×10 ⁴	10	1.4×10 ⁴
56.0°C	1.5	10.7×10 ⁴	10	3.6×10 ⁴
60.8°C	1.6	10.7×10 ⁴	10	6.5×10 ⁴
F/T=0.5	2.3	5.8×10 ⁴	10	1.8×10 ⁴
1.0	1.5	10.7×10 ⁴	10	3.6×10 ⁴
1.5	1.7	9.0×10 ⁴	10	3.9×10 ⁴
2.0	2.4	10.1×10 ⁴	10	3.5×10 ⁴
2.5	1.8	11.3×10 ⁴	10	3.4×10 ⁴
ゴム量=0%	1.5	10.7×10 ⁴	10	3.6×10 ⁴
3%	1.9	10.9×10 ⁴	10	3.7×10 ⁴
5%	1.7	9.8×10 ⁴	10	4.7×10 ⁴
7%	2.8	8.6×10 ⁴	10	4.6×10 ⁴
アスファルト コンクリート	2.5	7.1×10 ⁴	10	2.1×10 ⁴

ものと若干異なり、高温において高い剛性率が流動に対してよく抵抗することを意味し、また低温において低い剛性率がより高いたわみ性を示すものであり、高温で適当に高い剛性率、低温で低い剛性率を示すものが期待される。本試験の一部である 0°C, 20°C, 載荷時間 1.5~2.5 msec., 10 msec. の曲げ剛性率を表-7 に示す。EVT が大になると、0°C, 20°C 何れの場合も剛性率は大きくなってくる。

b. フィラー量の影響

i) 脆性; F/T=0.5 を除けば、すべて 15°C で I 型, 20~25°C で II 型, 30°C で III 型であり、フィラー量によって差は示されない。

ii) 曲げ強さ; F/T=0.5 を除けば、0~30°C の間でアスファルトコンクリートより大きな曲げ強度を示している。舗装の構造的な解析からみれば、実際に生ずる応力よりも材料のもつ強さはかなり高いレベルにあり、この絶対

値の高さはさして大きな利点とならない。

iii) 許容歪; 0~30°C では、F/T=0.5~2.5 のすべての合材は、アスファルトコンクリートより許容歪は小さい。

vi) 曲げ剛性率; フィラー量が増加すると剛性率は大になる傾向がみられる。

c. 合成ゴムラテックス添加の影響

i) 脆性; ゴム 3% 添加で 30°C のフロー性状が II 型に変わり、7% 添加では 20°C で I 型を示すようになった。

ii) 曲げ強さ; 約 10°C 以上では、ゴム添加による曲げ強さの増加が認められる。ピークはすべて 20°C である。

iii) 許容歪; タールにゴムを添加しても許容歪はアスファルトコンクリートに比し小さい。

vi) 曲げ剛性率; 0°C ではゴム添加により剛性率は若干小となり、20°C では幾分大きくなっている。

IV. 結 論

以上の試験結果から次のようなことが結論される。

1. タールの EVT を中ピッチ添加により上昇させると動的安定度は増加し、静的安定度も著しく増大する。又曲げ強度も大となるが、反面脆くなる傾向が生じ、たわみ性も小さくなってしまう。この試験では、中ピッチにより粘度の上昇を試みたが他の適当な材料が望まれよう。

2. フィラー量を多くすると F/T=2.0 位までは、動的安定度は小さくなる。静的安定度については F/T=1.0 で最大値を示した。脆性についてはフィラー量により大きな変化はみられない。曲げ強さはアスファルトコンクリートに比し一般に大きい、許容歪は小さい。

3. 合成ゴムラテックス添加により、高温時の動的安定度は大きくなる。低温脆性は若干改良されそうである。曲げ強さはアスファルトコンクリートより大きい、たわみは小さい。

以上高温安定度と低温における力学的性状から、種々のタール合材について検討を加えたが、タール合材は、動的安定度、脆性、たわみ性の点でまだ問題があると思われる。これらの欠点の改良と、その特性を生かした合材の開発とが今後の課題となるであろう。